

鋼板接着によるコンクリート構造物の補強設計法に関する研究

著者	佐野 正
号	1860
発行年	1995
URL	http://hdl.handle.net/10097/7133

氏 名	佐 野 まさし
授 与 学 位	博 士 （ 工 学 ）
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 3 月 26 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
学 位 論 文 題 目	鋼板接着によるコンクリート構造物の補強設計法に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 三 浦 尚
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 三 浦 尚 東北大学教授 藤 原 稔 東北大学教授 岸 野 佑 次 東北大学教授 岩 熊 哲 夫

論 文 内 容 要 旨

近年，老朽化あるいは設計時に考慮した荷重を上回る過載荷のために，ひび割れが発生したり耐荷力不足となったコンクリート構造物が増えつつある。さらに，平成 5 年 11 月，道路構造令第 35 条「設計自動車荷重の改正」に伴い，道路橋の等級により TL-20tf および TL-14tf と区分されていた設計荷重が一律 25tf に引き上げられ，補強を必要とするコンクリート構造物が今後増えることが予想される。これらの構造物を補強する場合は，現在，広く用いられている方法に鋼板接着工法がある。

鋼板接着工法は，既設のコンクリート構造物の表面にエポキシ樹脂を用いて鋼板を接着し，部材断面内の鉄筋量の不足を外部から補おうとする補強工法である。鋼板の接着後は，コンクリート構造物と鋼板とが一体となって外力に抵抗する合成構造として機能する。わが国には，1960 年代の後半にフランスから鋼板接着補強に関する技術が導入されて以来，主に道路橋鉄筋コンクリート（以下，RC と称する）床版の損傷対策として多くの施工実績がある。また，RC 床版の補強設計に関する考え方も提案されている。しかしながら，より基本的な構造系であるコンクリートはり部材を補強する場合の明確な補強設計の考え方は提案されてない。特に，本工法による補強設計を行う上で最も重要な鋼板接着長の決定に関する研究はほとんど行われていない。

本論文では，鋼板接着による補強効果を発揮させる上で非常に重要と考えられるが，いまだ明確にされていない鋼板定着長の決定法を提案するとともに，この定着長を考慮し，合理的に鋼板の接着長を定める方法および簡便な曲げ耐荷力の算定法を提案した。

本論文は，6 章から構成されており，各章の内容をまとめると以下の通りである。

第 1 章 序 論

本論文の目的と意義について述べた。

第 2 章 鋼板接着により補強された鉄筋コンクリートはりの性質

本章では，鋼板接着により補強された RC はりの性質を明らかにすることを目的として行った曲げ載荷実験について述べた。

鋼板接着により補強された RC はりの実験は，RC 床版の補強設計法を確立しようとする研究の中で予備的に行われたものが多い。そのため，RC はり部材を補強対象とした場合の補強効果や終局に至るまでの破壊現象に関するデータ

が十分ではない。実験では、比較の基準となる無補強 RC はり供試体に長さおよび厚さの異なる 2 種類の鋼板を接着し、補強効果や破壊過程、主鉄筋や鋼板のひずみの発生状況、ひび割れの進展の様子を詳細に観察した。

実験の結果、鋼板の接着長がスパン長に対して 47% と短い場合、鋼板端部付近ではく離が発生した。ただし、荷重の初期の段階では無補強 RC はりに比べて、曲げ剛性が高まるといった補強効果が得られた。

鋼板の接着長がスパン長に対して 95% と長い供試体では鋼板のはく離が発生しなかった。鋼板がはく離しない場合について補強 RC はりの曲げ性状を無補強 RC はりと比較すると、曲げ剛性、降伏荷重およびコンクリートの圧壊荷重が高まるといった補強効果が得られた。そして、このような補強効果は切断法を用いた数値計算上からも確認された。

以上の実験結果に基づき、鋼板接着による補強効果を発揮させるためには、十分な長さの鋼板を接着する必要があることを指摘した。

第 3 章 鋼板のはく離現象

本章では、第 2 章の結果を受け、鋼板とコンクリートとはく離機構を明らかにするためにに行った両引き試験および 2 次元線形有限要素法 (FEM) を用いた鋼板接着部の応力解析について述べた。

両引き試験とは、RC 部材の引張部をモデル化した RC 両引き供試体を用いた直接引張試験である。RC 両引き供試体は、2 種類のコンクリート強度で作製した。これに長さおよび幅の異なる鋼板を接着し、鋼板のはく離荷重の測定、はく離形態の観察を行った。

FEM 解析では、解析の結果より得られた接着面に対して水平方向のせん断応力度（以下、接着応力度と称する）と接着面に対して垂直方向に作用する応力度を用いて鋼板のはく離現象を検討した。

両引き試験の結果、はく離荷重はコンクリートの強度が増すと高くなる傾向にあることが認められた。ただし、荷重の増加は必ずしもコンクリート強度の上昇に比例しない。

鋼板接着部に FEM 解析を適用して、両引き供試体のはく離現象を検討した結果、樹脂層に隣接するコンクリート要素に沿って発生する接着応力度は、鋼板応力度が最も大きい接着開始位置付近で最大値を示した。鋼板のはく離現象と接着応力度の最大値との関係を検討するためコンクリートのせん断強度と接着応力度の最大値とを比較した。その結果、最大値は鋼板のはく離時においてもコンクリートのせん断強度と同程度かこれを下回っていることから、両引き供試体で観察された鋼板のはく離は、コンクリートのせん断破壊に起因するものではないことが明らかになった。また、同解析の結果、鋼板先端付近には接着面に対して垂直方向の引張応力度が発生し、その値は鋼板先端で最大となることが確認された。鋼板のはく離現象と鋼板先端の引張応力度の最大値との関係を検討するため、ここではコンクリートの引張強度と鋼板先端の引張応力度の最大値とを比較した。その結果、鋼板のはく離時における最大値は、鋼板幅や接着長にかかわらずコンクリートの引張強度と同程度かこれを上回っていた。従って、両引き供試体で観察された鋼板のはく離は、鋼板先端に発生する接着面に対して垂直方向の引張応力度の最大値が、コンクリートの引張強度を超えたために発生したものであることが明らかになった。

第 4 章 鋼板の定着長

本章では、両引き供試体の鋼板接着部の応力解析に用いた 2 次元線形 FEM 解析を、はり部材の引張縁に接着された鋼板の接着部にも適用し、はり部材での鋼板のはく離現象を検討した結果について述べた。

解析は、はり高さ、鋼板の接着長および鋼板厚を変化させた 8 タイプについて行った。

応力解析の結果、接着された鋼板の先端位置に発生する曲げモーメント、樹脂層に隣接するコンクリート要素に発生する接着応力度の最大値、および接着面に対して垂直方向の応力度の最大値、の間にはほぼ一定の関係があることが確認された。そこで、これらの関係を用いて鋼板の定着長および鋼板のはく離荷重の算定式を提案し、続いて、提案した鋼板定着長の算定式に基づいて補強 RC はり供試体を設計し、曲げ載荷実験を行って提案式の妥当性を検証した。

補強 RC はり供試体は、実施工で一般的に採用されている鋼板厚 4.5mm、樹脂厚 5.0mm で作製した。また、機械的定着の効果を検討するため、鋼板端部にアンカーボルトを併用して鋼板を定着した供試体も作製し比較を行った。この際、アンカーボルトの埋込み長の影響を確認するため、4 cm および 11cm の 2 種類の埋込み長さでアンカーボルトを設置した。

実験の結果、アンカーボルトを併用していない供試体での鋼板のはく離荷重は、提案した算定式によりほぼ推定できることが確認された。埋込み長が4 cmのアンカーボルトを併用した供試体では、アンカーボルトを併用していない供試体でののはく離荷重に対して10～20％程度高い荷重に達した時点でアンカーボルトがかぶりコンクリートごと抜け出した。これに対し、埋込み長が11cmのアンカーボルトを併用した供試体では、アンカーボルトから鋼板先端までの区間で鋼板と樹脂層との接着面にずれが生じたものの、アンカーボルトを併用していない供試体のコンクリート圧壊荷重に対して1.3倍程度高い荷重でコンクリートが圧壊して終局に達した。また、埋込み長が4 cmのアンカーボルトを用いたときに見られたようなアンカーボルトの抜け出しは発生しなかった。従って、鋼板端部に埋込み長の長いアンカーボルトを設けることは、アンカーボルトが抜け出すといった致命的な破壊を防ぐ上で効果的であることが明らかとなった。

第5章 補強設計法に関する提案

本章では、前章までの検討結果に基づき、鋼板接着によるコンクリート構造物の補強設計法に関して以下に示す提案を行った。

- (1) 定着長を考慮した鋼板接着長の決定法を具体的に提案した。
- (2) アンカーボルトの併用に関して提案を行った。
- (3) 鋼板接着により補強されたRCはりおよびPCはりの曲げ耐荷力を簡便に算定する方法を提案した。

本論文では、鋼板とコンクリートとののはく離現象に着目し、はく離機構を解明するとともに、コンクリートはり部材を補強する上で最も重要な、鋼板の定着長およびこの定着長から求まる鋼板の必要な接着長を決定する方法を提案した。また、その際の曲げ耐荷力を簡便に算定する方法をも提案した。これにより、コンクリート部材の引張縁に鋼板を途中接着する場合の合理的な補強設計が可能になった。

第6章 結 論

本論文の結論である。

審査結果の要旨

コンクリート構造物が劣化して耐力が低下したり、構造物の設計時に考慮した荷重を上回る荷重が載荷されるような場合、コンクリート構造物の補強が必要となる。そしてこのような構造物を補強する場合、鋼板接着工法が採用される場合がある。鋼板接着工法は、既設の鉄筋コンクリート構造物の表面にエポキシ樹脂を用いて鋼板を接着し、部材断面内の鉄筋量の不足を外部から補おうとする工法であり、鋼板の接着後は鉄筋コンクリート構造物と鋼板とが一体となって外力に抵抗する合成構造として機能する。そして、わが国には、1960年代の後半にフランスから技術が導入されて以来、主に道路橋床版の補強対策として発展してきた。しかし本工法は、より基本的な構造系である梁や桁を補強対象とした体系的な研究は少なく、補強効果や終局に至るまでの破壊現象については不明な点が多い。特に、鋼板接着長の決定に関する研究はほとんど行われていない。

本論文は、本工法における鋼板定着長の決定法を提案すると共に、本工法を用いた梁部材の曲げ耐力の算定法を提案することを目的としたものであり、全文6章よりなる。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章では、鋼板接着により補強された鉄筋コンクリート梁の曲げ耐力実験について述べ、この種の梁の破壊性状を明らかにした。また、破壊においては、鋼板とコンクリートとの剥離が耐力に大きく影響していることを明らかにした。

第3章では、両引き試験および応力解析によって、鋼板とコンクリートとの剥離機構を明らかにした。そして、鋼板の剥離は、鋼板先端に発生する接着面に対して垂直方向の引張応力の最大値がコンクリートの引張強度を越えたことにより発生することを明らかにした。これは貴重な結果である。

第4章では、応力解析によって、梁部材の引張側に接着された鋼板の剥離現象を明らかにすると共に、鋼板定着長と鋼板の剥離荷重の算定式とを提案した。さらに、提案した算定式に基づいて補強設計した梁供試体による曲げ耐力試験を行い、提案した算定式の妥当性を確認した。

第5章では、前章までの検討結果に基づき、鋼板接着によるコンクリート構造物の補強設計法の提案を行っている。これは有用な知見である。

第6章は、結論である。

以上要するに、本論文は、鋼板とコンクリートとの剥離現象に着目し、その剥離機構を明らかにすると共に、コンクリート梁部材の補強上最も重要な鋼板定着長の決定法および曲げ耐力の算定法を提案したものであり、コンクリート工学及び土木工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。